Sustitución de fosfato dicálcico por fuentes alternativas cubanas: estudio de la digestibilidad de materia seca y el consumo en carneros Pelibuey

M. Valera, Natacha Dorta, J.G. Cairo y Odilia Gutiérrez
Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba
Correo electrónico: mvalera@ica.co.cu

Se sustituyó el fosfato dicálcico (FD) por una fosforita y una roca fosfórica en la premezcla mineral de un pienso destinado a carneros, para validarlas como sustitutos del producto importado. Se evaluó la composición química de la fosforita "Trinidad de Guedes" (FTG), en cuanto a P y Ca, así como la solubilidad de estos elementos en ácidos clorhídrico y cítrico. Para analizar la influencia de la sustitución del FD por la fosforita y la roca, se utilizó un diseño experimental cuadrado latino 4x4, con carneros machos Pelibuey. Se evaluaron dos niveles de adición de la premezcla con FTG, y uno con roca fosfórica "Venegas". La FTG mostró porcentajes de P y Ca de 18 y 28 %, respectivamente. Sus valores de solubilidad se encontraron entre 95.4 y 99.13 %, para el P, y entre 82.7 y 86 % para el Ca, en los ácidos clorhídrico y cítrico, respectivamente. Los animales mostraron, como promedio, consumos de MS de 1.09 kg para el control, 0.96 y 0.98 kg para los tratamientos con FTG, y 0.95 kg para el tratamiento con roca fosfórica "Venegas". En los dos primeros tratamientos se obtuvieron valores de digestibilidad de MS de 40.63 y 48.75 %. En el último fue de 49.60 %, igualmente superior. El valor de la digestibilidad de la MS para el tratamiento control fue de 45.61 %. La FTG posee valores aceptables de P y Ca, y puede sustituir al FD de la premezcla mineral del pienso para carneros, sin afectar el consumo y la digestibilidad de la MS.

Palabras clave: *Pelibuey, premezcla mineral, pienso*

La sustitución de suplementos minerales como el fosfato dicálcico (FD) es de vital importancia para lograr una adecuada alimentación animal. Este producto alcanza altos precios en el mercado internacional, que llegan, en ocasiones, a los 1200.00 USD/t (UECAN 2008). El fosfato dicálcico se ofrece a los animales como suplemento de P y Ca, y constituye un componente fundamental de las premezclas minerales en la elaboración de los piensos. Ante estas condiciones, es necesario encontrar alternativas que permitan la sustitución de importaciones de productos de este tipo mediante sustitutos rentables que permitan alcanzar buenos indicadores productivos.

Estudios realizados por Acosta *et al*. (2009) y Gutiérrez *et al*. (2009) demostraron que es posible utilizar la fosforita proveniente del yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) (10-15 % P, 20-23 % Ca) como sustituto del FD en la alimentación de gallinas ponedoras, vacas lecheras y toros de engorde.

Con el objetivo de aportar las bases para potenciar su utilización y contribuir a la sustitución de importaciones, se determinó la composición química de la FTG y su posible efecto en el consumo de MS y su digestibilidad, al ser utilizada como sustituto del FD en la premezcla mineral del pienso destinado a la alimentación de carneros. Se analizó además, la influencia de la roca fosfórica incluida en la sustitución, proveniente del yacimiento "Venegas", en Yaguajay, provincia Sancti Spíritus, región en la que los animales la consumían libremente. Se hizo énfasis en la FTG, ya que el yacimiento del cual se obtiene había sido estudiado con anterioridad.

Materiales y Métodos

Se partió de un lote de FTG, producida a partir de la roca fosfórica del yacimiento ubicado en la provincia Matanzas, en Cuba. Este yacimiento se encuentra georeferenciado y la prospección geológica para las actuales extracciones (10 000 t/año) sugiere volúmenes suficientes para 50 años de explotación. El costo de producción es, aproximadamente, 13.25 USD/t, y en la actualidad solo se utiliza como materia prima para la producción de fertilizantes. La roca fosfórica "Venegas" proviene de un yacimiento, aún sin estudiar, en la provincia de Sancti Spíritus.

Determinación de P y Ca. Se tomaron al azar 30 muestras tecnológicas de FTG. Para la determinación de P, se procedió mediante la técnica de Amaral (1972). Se tomó 1mL de una disolución de 1g de fosforita en 100 mL (1:100) de ácido clorhídrico (1M), y se añadió agua desionizada en un volumétrico de 50 mL, hasta la mitad de su capacidad. Se adicionaron dos o tres gotas del indicador 2-4 dinitrofenol. Posteriormente, se procedió con la adición de solución de NaOH (10 %), gota a gota, hasta que la disolución tomó un color amarillo. Luego, se añadió H_2SO_4 gota a gota, hasta la decoloración completa. Se adicionaron 2 mL de molibdato de amonio y se enrasó con agua desionizada hasta alcanzar el volumen de 50 mL. Se adicionaron después 0.15 mL de $SnCl_2$. $2H_2O$. Se agitó hasta lograr uniformidad y se determinó la densidad óptica a 660 nm contra un blanco.

Para preparar la curva patrón, se tomaron 10 mL de solución patrón de P (50 p.p.m.) que se llevaron a un volumétrico de 50 mL. Luego, se enrasó el contenido con agua desionizada. De esta solución, que contiene 10 p.p.m. de P, se tomaron alícuotas de 1, 2 y 3 mL y se llevaron a un volumétrico de 50 mL. Este procedimiento se repitió para la determinación de P. Estas soluciones

tenían 0.2, 0.4 y 0.6 p.p.m. de P. Se construyó el gráfico mediante el ploteo de las concentraciones de P en el eje de las X, y las densidades ópticas, en el eje de las Y. A partir del gráfico se calculó la pendiente.

Para el cálculo de los resultados se aplicó la fórmula:

$$\%P = \frac{D.O}{m} \times \frac{1}{\frac{\text{Peso muestra}}{\text{Volumen llevado}} \times \frac{\text{Alicuota tomada}}{\text{Volumen final}}}$$

Donde:

DO: Densidad óptica

Peso muestra: 1 g

Volumen llevado: 100 mL

Volumen final: 50 ml

m: Pendiente de la curva patrón de P establecida previamente

Para la determinación de Ca se procedió según la AOAC (1965), a partir de la formación de un quelato entre el catión y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Se tomó una alícuota de 10 mL de la muestra de fosforita diluida en ácido clorhídrico (1:100) y se llevó a un volumen de 100 mL. Luego, se añadieron 25 mL de agua desionizada y 8 mL de solución de KOH (20 %). Posteriormente, se adicionó una cantidad de indicador de calceína-KCl, equivalente a la punta de una espátula pequeña. Por último, se valoró la disolución con solución de sal disódica de EDTA. Para preparar la solución patrón de Ca se pesaron 0.625 g de $CaCO_3$, previamente secado a 110 ºC durante tres horas, y se disolvieron en 6 mL de HCl (1:1). Se trasvasó a un volumétrico de 1000 mL y se enrasó con agua desionizada. Esta solución contenía 0.25 mg de Ca/mL.

Para la obtención de los datos se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\% Ca = VCa \times FCa$$

$$F\,Ca = \frac{2.5}{V}$$

Donde:

V Ca= Volumen de solución de EDTA utilizado en la valoración de la muestra

FCa= Factor del Ca

V= Volumen de solución de EDTA utilizado en la valoración de la solución patrón de Ca.

Solubilidad del P y Ca de la FTG en ácido cítrico y clorhídrico. Para determinar la solubilidad de los componentes minerales en los ácidos cítrico y clorhídrico, se pesaron 0.2 g de FTG y se transfirieron a un volumétrico de 250 mL, con disoluciones de ácido cítrico (2 %) y clorhídrico (0.4 %) por separado. Las mezclas se homogenizaron y se dejaron reposar durante 30 min. Se filtraron y se determinó la cantidad de P y Ca soluble en cada uno de los sobrenadantes.

Estudios de comparación de consumo de MS. Se utilizaron cuatro carneros, con 30 kg de peso vivo promedio, en un diseño experimental cuadrado latino 4x4. Se evaluaron dos niveles de adición de la premezcla formulada con FTG, en sustitución del FD (60 y 100 g) incluidos en los 200 g de pienso que se ofrecieron como suplemento proteico. En el cuarto tratamiento se incluyó 60 g de la premezcla formulada con roca fosfórica en los 200 g de pienso ofrecido como suplemento.

Se determinaron los indicadores de consumo y digestibilidad aparente de la MS. Se utilizó como control una premezcla mineral del pienso, formulada con FD de importación. Todas las premezclas se prepararon diariamente, de forma manual y se añadieron al pienso. La composición de las mismas se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de las premezclas minerales utilizadas en el estudio

Premezclas	Composición
Premezcla con FD (Control)	50 % FD 40 % ClNa 10 % Microelementos
Premezcla con FTG	60 % FTG 30 % ClNa 10 % Microelementos
Premezcla con roca fosfórica “Venegas”	60 % roca fosfórica “Venegas” 30 % ClNa 10 % Microelementos

Los animales recibieron 2 kg de heno de baja calidad proteica, con 89. 67 % de MS, 6.96 % de cenizas y 10 L de agua como alimento. Se determinaron los consumos de heno y agua, así como la excreción fecal de MS fresca y húmeda de cada uno de ellos. Los carneros se mantuvieron en fase experimental durante 36 d, con cinco días de adaptación para cada dieta, y cuatro días de toma de muestras en cada uno de los tratamientos.

Tratamiento estadístico. El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el sistema Infostat (versión 5.1) (Balzarini *et al*. 2001).

Resultados y Discusión

Los contenidos de P y Ca de la FTG fueron de 18 y 28 %, respectivamente. Estos resultados se corresponden con los informados por Uzcátegui y Rodríguez (2007) en estudios realizados en rocas fosfóricas venezolanas, y coinciden también con los referidos por Acosta (2009). Sin embargo, resultan superiores si se comparan con los de la NRC (2005) para el FD (P: 18.5% y Ca: 20-24 %), que tradicionalmente ha sido fuente de referencia para la suplementación de estos macroelementos en las dietas destinadas a animales.

Como indicador de la biodisponibilidad de P, se determinó la solubilidad en ácido cítrico (2 %) (Sindirações 2005 y Sakomura y Rostagno 2007) y ácido clorhídrico (0.4 %). También se determinó la del Ca. Los valores se representan en la tabla 2.

Las cifras de solubilidad en los ácidos resultaron superiores a las informadas por Martínez de Acurero *et al*. (1993), quienes determinaron que la medición de la solubilidad de un fosfato inorgánico en varios solventes se puede considerar también como metodología que se puede utilizar para determinar la disponibilidad biológica

Tabla 2. Solubilidad del Ca y P de la FTG en los ácidos cítrico y clorhídrico.

	Solubilidad (%)	
Indicadores	Ca	P
Ácido cítrico	86.00	99.13
Ácido clorhídrico	82.70	95.40

de los elementos presentes en dicho fosfato.

Según Casanova (2007), la biodisponibilidad promedio relativa del P en la alimentación animal presenta los siguientes valores: fosfato monocálcico (93-98 %), fosfato bicálcico hidratado (92-101 %), fosfato tricálcico anhidro (86 %), fosfato tricálcico defluorinado (95-96 %), fosfato triple de sodio, calcio y magnesio (96 %), urea-fosfato (90-96 %), harina de hueso (90 %), roca fosfórica (20-50 %), fosfatos de aluminio, hierro y calcio (15 %), con respecto al monosódico (100 %). Esta biodisponibilidad varía con la especie animal y, al mismo tiempo, representa un uso potencial de las rocas fosfóricas en las raciones, que puede sustituir total o parcialmente la fuente tradicional de FD importado.

Cornejo *et al*. (1998) plantearon que en los controles de calidad realizados a los fosfatos utilizados en la alimentación animal se incluyen, entre otros requisitos, que las solubilidades del P en ácido cítrico (2 %) sean superiores a 95 %. Como ocurrió en este estudio, la solubilidad del P es superior a lo indicado en estas normas.

En trabajos desarrollados por Acosta *et al*. (2009) con FTG, se informaron valores de solubilidad de P de 98.83 % en ácido cítrico. En este estudio, los resultados obtenidos en la prueba fueron superiores a los referidos por Acosta (2009). Asimismo, los valores de solubilidad del P en ácido cítrico (2%) también superaron los de FD.

En la tabla 3 se muestran los resultados para el consumo y digestibilidad de la MS, de acuerdo con los tratamientos suministrados. Según Covacevich (2001), el consumo de MS de un carnero se halla entre 3 y 3.5 % de su PV. Se debe tener en cuenta que el nivel de consumo voluntario de un forraje depende de interacciones dinámicas, que involucran al animal, a la población microbiana y al forraje suministrado (Orskov 1991). Los valores obtenidos no difirieron del control.

El consumo de MS para el tratamiento control, expresado en porcentaje del PV de los animales, representó 3.6 % del PV promedio. Para el primer tratamiento con FTG, el consumo real fue de 3.2 %.

En el tratamiento donde se incluyeron 100 g de premezcla en 200 g de pienso ofrecidos como suplemento proteico, se obtuvo 3.3 % de consumo de MS, y cuando se sustituyó el FD por roca fosfórica, se logró un consumo equivalente a 3.1 % con respecto al PV promedio. Los resultados se hallan en el intervalo referido por Covacevich (2001). Por tanto, se puede decir que la sustitución del FD del pienso por FTG no afectó el consumo ni la digestibilidad aparente de la MS en estos animales.

Los valores de digestibilidad aparente de la MS indicaron resultados de interés. En el tratamiento con suplementación de 60 g de premezcla mineral con FTG no se encontraron diferencias significativas con respecto al control.

En el tratamiento con 100 g de premezcla tampoco se encontraron diferencias significativas. Lo mismo sucedió con la inclusión de roca fosfórica.

Al comparar los dos tratamientos donde se sustituyó el FD por FTG, se constataron diferencias significativas ($P < 0.05$) en cuanto a la digestibilidad aparente de la MS. Al suplementar con 100 g de premezcla, se obtuvieron mayores porcentajes de digestibilidad. En este caso, los animales recibieron 10.8 g de P a través de la premezcla. Sin embargo, en la suplementación con 60 g, recibieron 6.48 g de P.

Es posible que la concentración de P en los 60 g de premezcla no cubriera completamente las necesidades de los microorganismos ruminales. Por ello, la actividad microbiana pudo disminuir con respecto a la de los microorganismos del rumen de los animales que consumieron 100 g de premezcla. En este tratamiento con 100 g de premezcla, los microorganismos cubrieron mayoritariamente sus requerimientos de P, y pudieron desarrollar mayor actividad celulolítica. Esto resulta en mayor degradación de las paredes celulares.

En un estudio de Ramírez-Pérez y Meschy (2005) se refiere la importancia del P para la actividad de los microorganismos ruminales. Estos autores hacen alusión a las necesidades de este macroelemento por los microorganismos del rumen. Además, ejemplifican el aumento o la disminución de la actividad celulolítica ante las diferencias en la concentración de P.

En el tratamiento donde se suplementó la premezcla formulada con roca fosfórica, se obtuvieron porcentajes mayores de digestibilidad aparente de la MS, al compararlos con el control. En esta roca no se realizaron determinaciones de concentración de P y Ca. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar trabajos futuros con esta fuente.

Tabla 3. Comportamiento del consumo y digestibilidad aparente de la MS en los diferentes tratamientos.

Indicador	Tratamientos (g premezcla/200 g concentrado)				EE ± Sign
	FD (60)	FTG (60)	FTG (100)	Venegas (60)	
Consumo MS (kg/animal/d)	1.09	0.96	0.98	0.95	1.07
Digestibilidad MS (%)	45.61^{ab}	40.63^{a}	48.75^{b}	49.60^{b}	1.81*

^{ab}Valores con letras distintas dentro de la misma fila difieren significativamente a $P < 0.05$ (Duncan 1955) * $P < 0.05$

A partir de los resultados de este estudio, y al considerar los valores de solubilidad en los ácidos y los de digestibilidad aparente de MS, se concluye que la disponibilidad biológica del P proveniente de la FTG es aceptable para su utilización en la alimentación de rumiantes.

Se puede afirmar que es posible sustituir el FD por FTG en la formulación de premezclas minerales en piensos destinados a la alimentación de carneros. La fuente presentó altas cantidades de P y Ca y altos valores de solubilidad en los ácidos analizados. El consumo de MS y su digestibilidad aparente no se afectaron por la sustitución. La disponibilidad del P es aceptable para su utilización en la alimentación animal. Entre los tratamientos analizados, el mayor valor de digestibilidad se logró con 100 g de premezcla formulada con FTG, a excepción de la roca fosfórica, la cual presentó valores superiores.

Agradecimientos

Los autores agradecen la labor del DMVZ. George E. Vasallo Jamet, por el apoyo brindado en la realización de estos estudios.

Referencias

AOAC 1965. Official Methods of Analysis. Ass. Off. Agric. Chem. Washington, DC.

Acosta, A. 2009. Evaluation of the phosphorite from the Trinidad de Guedes (TG) deposit as potential source of phosphorus in laying hens. Cuban J. Agric. Sci. 43:161

Acosta, A., Lon-Wo, E., Cárdenas, M., Febles, M., Dieppa, O., & Almeida, M. 2009. Determination of relative phosphorus bioavailability in phosphorite from the Trinidad de Guedes deposit through tests of growth and bone mineralization in chickens and laying hens. Cuban J. Agric. Sci. 43:53

Amaral, A. 1972. Técnicas analíticas para evaluar macronutrientes en cenizas de caña de azúcar. Laboratorio de Nutrición de la Caña. Escuela de Química. Universidad de La Habana. Cuba

Balzarini, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., González, L. A. & Robledo, C. W. 2001. Software estadístico: InfoStat, versión 5.1. Manual de usuario. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Casanova, O. 2007. Efecto de las rocas fosfóricas naturales y modificadas sobre la cantidad y calidad de pastos introducidos en Venezuela. Agronomía Trop. 57:271

Cornejo, S., González, N., González, J., Camus, J., & Pokniak, J. 1998. Efectos del empleo de tres diferentes fuentes de fósforo en las dietas, sobre los rendimientos productivos de pollos broiler. Arch. Med. Vet. 30:2

Covacevich, N. 2001. Protección y recuperación de los pastizales de la XÍI Región. Servicio Agrícola y Ganadero - Región de Magallanes y Antartica Chilena. Centro Regional de Investigación Kampenaike. I Simposio Internacional de la Federación de Ovejeros y Cabreros de América Latina (FOCAL).

Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1

Gutiérrez, O., Savón, L., Ojeda, A., Fajardo, H., Cairo, J.G., Crespo, G., Mejías, R., García-López, R., Oramas, A., Fraga, S., Alvarez, A., Monteagudo, F. &Viamonte, M.I. 2009. Fuentes minerales cubanas: impacto en la alimentación de monogástricos y rumiantes. Premio Academia de Ciencias de Cuba.

Martínez de Acurero, M., Capó E., Chicco, C.F., Godoy de León, S., Acurero, G., & Quintana, H. 1993. Digestibilidad *in vitro* de la celulosa utilizando diferentes fuentes de fósforo. Zoot. Trop. 11:3.

NRC 2005 Mineral Tolerances of Animals. 2 Ed. National Academy of Sciences. Washington, DC.

Orskov, E.R. 1991. Manipulation of fibre digestion in the rumen. Proc. Nutrition Society 50:187

Ramírez-Pérez, A. & Meschy, F. 2005. Requerimiento de fósforo de los microorganismos ruminales: Una revisión. INCI. 30:11

Sakomura, N.K. & Rostagno, H.S. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Universidade Federal de Viçosa. 282 pp.

Sindirações. 2005. Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. Ed. Sindicato Nacional da Industria de Alimentação Animal. São Paulo, SP. 204 pp.

UECAN. 2008. Unión de Empresas Combinado Avícola Nacional. Informe de datos Técnicos de Producción. Cuba. 30 pp.

Uzcátegui, L. & Rodríguez N. 2007. Evaluación de la roca fosfórica en la alimentación de cerdos en fase de engorde. APPA-ALPA-Cusco, Perú. Sitio Argentino de Producción Animal

Recibido: 13 de noviembre de 2012